

TRATAMENTO DE ODORES DE SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO ATRAVÉS DE BIOFILTRAÇÃO

Maria Joana Allievi

Professor Paulo Belli Filho
Orientador

2015/1



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

Maria Joana Allievi

**TRATAMENTO DE ODORES DE SISTEMA
DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO ATRAVÉS
DE BIOFILTRAÇÃO**

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Paulo Belli Filho

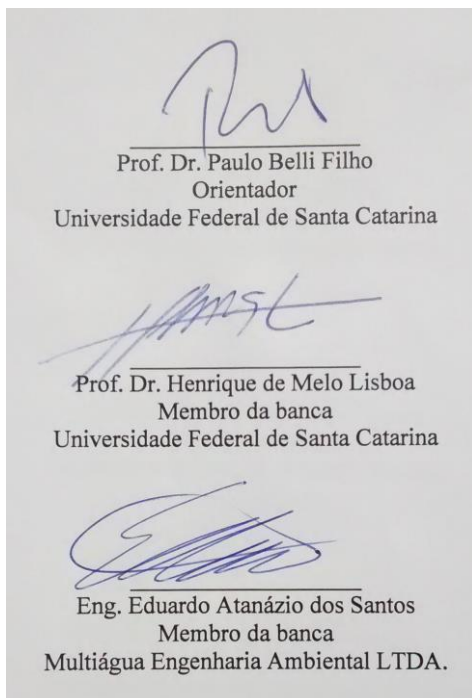
Florianópolis / SC
2015

Maria Joana Allievi

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para
obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e
aprovado pela banca examinadora.

Florianópolis, 09 de Julho de 2015.

Banca Examinadora:



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

TRATAMENTO DE ODORES DE SISTEMA
DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO ATRAVÉS
DE BIOFILTRAÇÃO

MARIA JOANA ALLIEVI

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental –
TCC II.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Belli Filho
(Orientador)

Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa
(Membro da Banca)

Eng. Eduardo Atanázio dos Santos
(Membro da Banca)

Florianópolis / SC
Julho, 2015

Dedico este trabalho aos meus pais, pela sua incessante luta para me dar o estudo que eles não tiveram.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Lúcia e Hermes, por todo incentivo aos estudos e o amor que me deram todos os anos de minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Belli Filho, pela ajuda, paciência e compreensão.

Ao Eduardo, meu chefe, por toda ajuda quando solicitei.

A Multiágua Engenharia Ambiental LTDA., executora do projeto que embasou este trabalho, pela oportunidade de estágio e confiança no meu trabalho.

A CASAN, por ceder o local para implantação do projeto.

A FINEP, órgão financiador que tornou possível o projeto.

A todos os professores do departamento, pois sem eles eu não seria o que estou me tornando hoje.

Muito obrigada!

RESUMO

A aproximação das comunidades às estações de tratamento de esgoto e às estações elevatórias iniciou um problema de saúde pública: a convivência diária com maus odores gerados nestes ambientes. Assim, a qualidade de vida da população diminuiu e os problemas de saúde como náuseas, dores de cabeça e vômitos se tornaram frequentes entre a população adjacente as estações de esgotamento sanitário. Os maus odores são gerados pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto. Este processo ocorre nas tubulações, nas estações elevatórias e na etapa de tratamento. Os compostos responsáveis pelo mau odor são as aminas, os fenóis, os aldeídos, e o principal é o sulfeto de hidrogênio. Para resolver este problema, ou minimizá-lo, faz-se o uso de técnicas de tratamento de gases odorantes, dentre estas pode-se destacar a biofiltração. Esta é difundida mundialmente e tem vasta aplicação, visto que tem baixo custo de implantação e operação, facilidade operacional, alta eficiência no tratamento do H_2S (gás predominante em sistemas de esgotamento sanitário), tanto para grandes vazões como pequenas. O presente trabalho teve como objetivo operar e avaliar um biofiltro automatizado com leito de turfa para tratamento de odores de estação elevatória, esta localizada na Ponta do Leal - Florianópolis. O biofiltro automatizado reduziu a necessidade de um operador e quando foi necessário, as manobras operacionais foram simples, como ajustar a umidade no controlador de irrigação e recolher o efluente percolado. Para que o biofiltro obtivesse uma eficiência próxima dos 100% no que tange a remoção de H_2S (gás predominante em sistemas de esgotamento sanitário) teve-se que controlar alguns parâmetros como temperatura, pH da turfa e umidade. O biofiltro é feito em material de polipropileno (paredes e teto) e sua estrutura é feita em aço galvanizado a fogo. Com este trabalho, avaliou-se a eficiência na redução de odor e do gás sulfídrico. O resultado mostrou reduções de odor a níveis de concentração de H_2S imperceptível ao olfato humano, ou seja, inferior a 0,003ppm mensurada através de um aparelho específico, além de resultados sentidos pela comunidade local de trabalhadores e moradores das adjacências da estação, como a redução drástica de odor e de problemas de saúde, dos quais pode-se citar náuseas e dores de cabeça, entre outros.

Palavras-chave: odor, biofiltração, sulfeto de hidrogênio.

ABSTRACT

Communities getting closer to wastewater treatment plants and pumping stations originated a public health problem: living daily with the pungent stench produced in those locations. Thus, the quality of life diminished, and health conditions such as headaches, nausea and vomit became frequent among the population adjacent to sanitary sewage plants. The stench is generated by the degradation of organic matter present in the sewage; the process occurs in tubing, in pumping stations and in the treatment stage. The compounds responsible for the stench are the amines, phenols, aldehydes and hydrogen sulfide, the main contributor. To solve this problem, or minimize it, odorant gases treatment techniques are used, and among those, biofiltration can be highlighted. Known worldwide, biofiltration is widely used for its low cost of deployment and maintenance, operational ease and high efficiency in the treatment of H_2S (main gas in sanitary sewage systems), for both low and high output. The goal of the present work was to operate and evaluate a peat bed automated biofilter for the treatment of odors from a pumping station located at Ponta do Leal, in Florianópolis. The automated biofilter reduced the necessity of an operator and, when necessary, the operational tasks were simple, like adjusting the humidity in the irrigation controller and recovering the percolated effluent. Some parameters, like temperature, peat pH and humidity had to be controlled in order for the biofilter to obtain an efficiency close to 100% in H_2S removal. The biofilter is made of polypropylene (ceiling and walls) and its structure is made of fire-galvanized steel. With this work, the efficiency in odor and hydrogen sulfide reduction was evaluated. The results show odor reductions to H_2S concentration levels imperceptible to humans, that is, lower than 0,003ppm as measured by an specific equipment, besides the results perceived by the local community of workers and dwellers from the regions adjacent to the treatment station, such as the drastic reduction of the odor and the health problems, of which we can mention nauseas and headaches, among others.

Keywords: Odor, biofiltration, hydrogen sulfide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de percepção de odor.	31
Figura 2 - Roda de odor.....	35
Figura 3 - Tecnologias mais utilizadas no tratamento de odores.	36
Figura 4 - Alternativas para tratamento de odores baseadas na vazão e concentração do gás.	37
Figura 5 - Esquema de biofiltro fechado.	42
Figura 6 - Vista frontal do biofiltro.	46
Figura 7 - Vista lateral do biofiltro.....	47
Figura 8 - Jerome 631-X.	49
Figura 9 - Aparelho KIMO, modelo MP-200.....	50
Figura 10 - Ilustração do controlador de solos SMRT-Y e sua sonda... 51	
Figura 11 - Controladores de umidade e temporizador.	52
Figura 12 - Gráfico de vazão de gás odorante.	56
Figura 13 - Gráfico de umidade real x umidade da sonda.	57
Figura 14 - pH do efluente percolado.....	58
Figura 15 - Temperatura média do biofiltro.	59
Figura 16 - Gráfico de intensidade odorante.	60
Figura 17 - Gráfico de caráter do odor.	61
Figura 18 - Eficiência de remoção do gás sulfídrico.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de águas residuárias.....	29
Tabela 2 - Fontes geradoras de odor.	31
Tabela 3 - Fatores considerados para a caracterização completa de um odor.	32
Tabela 4 - Intensidade de odores para Piridina e 1-Butanol.	33
Tabela 5 - Escala de categoria do odor.....	34
Tabela 6 - Custos de tecnologia por unidade volumétrica de gás tratado.	37
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens da biofiltração no tratamento de odores.	42
Tabela 8 - Sintomas observados devido à exposição ao H ₂ S de acordo com a concentração.	45
Tabela 9 - Níveis de Intensidade de Odor.	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
2. JUSTIFICATIVA.....	25
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. OBJETIVO GERAL.....	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
4.1. ODOR	27
4.1.1. <i>Caracterização dos Odores</i>	28
4.1.2. <i>Percepção de Odores</i>	30
4.1.3. <i>Fontes Geradoras de Odor nos Sistemas de Esgotamento Sanitário</i>	31
4.1.4. <i>Dimensões do Odor</i>	31
4.1.5. <i>Medição do Odor</i>	32
4.1.5.1. Júri Olfatométrico.....	32
4.1.5.2. Intensidade Odorante.....	33
4.1.5.3. Hedonicidade.....	34
4.1.5.4. Qualidade do Odor	35
4.2. ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE ODORES.....	36
4.2.1. <i>Métodos Físico-Químicos</i>	38
4.2.1.1. Condensação.....	38
4.2.1.2. Membranas	38
4.2.1.3. Diluição	38
4.2.1.4. Plasma	38
4.2.1.5. Adsorção.....	39
4.2.1.6. Mascaramento	39
4.2.2. <i>Processos Biológicos</i>	39
4.2.2.1. Biofiltração.....	40
4.3. SULFETO DE HIDROGÊNIO (H ₂ S).....	44
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
5.1. O BIOFILTRO	45
5.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS	48
5.3. OPERAÇÃO	48
5.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	49
5.4.1. <i>Concentração de H₂S</i>	49

5.4.2.	<i>Vazão de Gás de Entrada</i>	50
5.4.3.	<i>Caracterização da Turfa in situ</i>	50
5.4.4.	<i>Umidade Real da Turfa</i>	52
5.4.5.	<i>pH do Efluente Percolado</i>	53
5.4.6.	<i>Análises Olfatométricas</i>	53
5.4.6.1.	Intensidade Odorante	54
5.4.6.2.	Caráter do Odor.....	55
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1.	VAZÃO DE GÁS DE ENTRADA.....	55
6.2.	UMIDADE REAL DA TURFA	56
6.3.	EFLUENTE PERCOLADO.....	57
6.4.	TEMPERATURA	58
6.5.	INTENSIDADE ODORANTE	59
6.6.	CARÁTER DO ODOR	60
6.7.	EFICIÊNCIA DO SISTEMA E CONCENTRAÇÃO DE H ₂ S.....	61
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXO I – TABELA DE CONCENTRAÇÕES DE H ₂ S DE ENTRADA E SAÍDA (EM PPM) E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO OBTIDAS	71
	ANEXO II – VALORES MÉDIOS DE INTENSIDADE ODORANTE	75
	ANEXO III - QUESTIONÁRIO DE INTENSIDADE ODORANTE.....	77
	ANEXO IV – QUESTIONÁRIO DE CARÁTER ODORANTE.....	79

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras sofreram um aumento exponencial nos últimos anos, com isso a aproximação das zonas residenciais e comerciais das estações de tratamento de esgoto foi inevitável. Devido à degradação do esgoto na ausência de oxigênio (digestão anaeróbia) o odor proveniente das estações gera um incômodo na vida das populações adjacentes a estas fontes, diminuindo assim a qualidade de vida destes moradores.

Com esta problemática, o trabalho de conclusão de curso visa avaliar um sistema de tratamento os odores gerados em uma estação elevatória de esgotos, que fica próxima a uma zona residencial, com a técnica de biofiltração e assim, avaliar a eficiência do tratamento com aplicação de metodologias que fazem uso do olfato humano e técnicas mecânicas para atestar a eficiência do sistema.

Este trabalho é de suma importância, pois o estado de Santa Catarina ainda não possui leis que combatam a poluição atmosférica, visando à melhora na vida da população próxima as fontes potencialmente poluidoras. Assim, com a comprovação da eficácia da biofiltração ela pode ser implantada para tratar os odores gerados em atividades potencialmente odoríferas, como as estações de tratamento de esgoto e as estações de recalque de esgoto sanitário.

A biofiltração ocorre em um meio chamado de leito filtrante, podendo este ser solo, cavaco de madeira, qualquer tipo de material que sirva de apoio às bactérias e forneça tratamento as mesmas, já que são estas que fazem o tratamento do sulfeto de hidrogênio. As bactérias se fixam no leito filtrante e assim então, conseguem fazer o tratamento do gás.

No sistema de biofiltração existem alguns parâmetros que devem ser analisados para que o tratamento dos gases seja efetivo. Os parâmetros necessários para efetividade do tratamento são: pH, temperatura e umidade.

A linha de estudos deste projeto é a gestão de odor integrada ao saneamento e teve participação efetiva do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAR) e do Laboratório de Efluentes (LABEFLU) ambos da Universidade Federal de Santa Catarina. Os dois laboratórios foram necessários nos estudos de pré-instalação e ajudaram com análises para avaliar a eficiência do tratamento.

As parcerias presentes neste trabalho na parte de projeto e execução são a UFSC, representada pelo Professor Paulo Belli Filho, juntamente com a empresa Multiágua Engenharia Ambiental, empresa priva-

da do ramo de tratamento de efluentes industriais, e como órgão financiador o FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos).

2. JUSTIFICATIVA

No decorrer das últimas décadas, os odores gerados em sistemas de tratamento de esgoto sanitário vêm incomodando a população próxima a estas áreas. Com o intuito de sanar este problema, o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC estuda, já há algum tempo, a desodorização destes sistemas através de gestão integrada ao saneamento, e dentro destes estudos pode-se destacar a técnica de biofiltração.

A biofiltração atende as necessidades de tratamento dos gases em locais com uma grande variação de vazão, além de ser um método ligeiramente barato, se comparado a outros métodos, tem uma ótima relação de custo x benefício, uma ínfima geração de resíduos, além da facilidade de operação e manutenção, por todas estas vantagens que foram apresentadas a biofiltração vêm sendo amplamente discutida e utilizada como meio para desodorização de sistemas de esgotamento sanitário.

Para que o sistema de biofiltração seja eficiente, alguns parâmetros químicos e físicos devem ser monitorados, como temperatura, pH, umidade, área de tratamento, vazão do gás. Tudo isso para que os microrganismos que tratam os gases vivam em harmonia e o ambiente seja propício para a vida e reprodução dos mesmos.

O tratamento dos gases é feito por bactérias, que vêm com o material filtrante do sistema até que se reproduzam e criem uma colônia ampla, para que haja a oxidação dos gases odorantes, e assim, o tratamento se torne eficiente. Como esta técnica já é difundida no mundo e também no Brasil, este trabalho aborda a eficiência do tratamento por várias metodologias, como a olfatometria e a concentração de gás sulfídrico, mensurada através de um aparelho específico. Além do mais, o trabalho ainda analisa a automatização do sistema, para que a intervenção humana seja cada vez mais desnecessária.

Deve-se lembrar de que Santa Catarina, assim como a maioria dos estados brasileiros, ainda não têm leis específicas que tangem a questão da poluição atmosférica. Portanto, este trabalho está à frente deste problema.

A realização deste trabalho só foi possível graças à parceria entre a UFSC e a empresa Multiágua Engenharia Ambiental, como parceiras e executoras do projeto, além do FINEP, órgão financiador do mesmo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral apresentar, com resultados de operação, um biofiltro para o tratamento de odores de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário, medindo sua eficiência através de análises olfatométricas e de concentrações de gás sulfídrico.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência do biofiltro quanto à remoção de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S);
- Avaliar a eficiência do biofiltro na remoção de odor através de métodos olfatométricos;
- Consolidar parâmetros de projeto e operacionais.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo expõe uma revisão literária acerca do assunto do trabalho como definição de odor, alternativas para o tratamento de odores, caracterização de odores, métodos de quantificação e qualificação de odor e sobre biofiltração, o principal foco do trabalho.

4.1. ODOR

O odor pode ser definido, de uma maneira simples, como uma mistura complexa de moléculas químicas voláteis. Seus produtos, em concentrações muito variáveis, são emitidos, na sua maioria, por atividades humanas, agrícolas, industriais ou domésticas (LE CLOIRE et al., 1991). Para Zurita et al. (1999), odor é a sensação resultante da recepção de um estímulo pelo sistema sensorial olfativo.

O odor é uma sensação associada com uma variedade de compostos os quais, quando presentes em concentração suficientemente alta no ar, ativam respostas nas pessoas expostas (CUDMORE E DONS, 2000). Para Prokop (1996), apesar de cotidianamente trazer consigo uma conotação desagradável, o odor simplesmente denota que alguma substância volátil ou semi-volátil está sendo detectada pelo sistema olfativo humano. Portanto, odor é uma sensação resultante da estimulação do orga-

nismo, sendo que cada organismo reage a este estímulo de forma diferente, ou seja, cada organismo pode ter uma percepção de um mesmo odor, o que dificulta sua caracterização e quantificação.

Para Revah e Morgan-Sagastume (2005), odor pode ser definido como um estímulo de células olfativas na presença de compostos específicos, incluindo Compostos Orgânicos Voláteis e Compostos Inorgânicos Voláteis (COV e CIV respectivamente).

As moléculas odorantes são tipicamente orgânicas, podendo variar em tamanho, forma, grupo funcional e carga. Incluem uma série de álcoois; ácidos alifáticos; aldeídos, cetonas e ésteres; químicos com estruturas de anéis aromáticos, alicíclicos, policíclicos ou heterocíclicos; etc. Diferenças sutis na estrutura de um odorante podem desencadear mudanças pronunciadas na qualidade do odor (GAILLARD; ROQUIER; GIORGI, 2004).

Nos humanos, o odor apresenta um caráter mais estético do que funcional. Em geral, os animais utilizam o olfato para detectar comida, predadores e parceiros sexuais. Apesar de menos desenvolvido, o olfato humano ainda é um sistema que percebe um vasto número de químicos voláteis: das milhões de espécies moleculares voláteis catalogadas, centenas de milhares podem ser detectadas pelo homem (GAILLARD; ROQUIER; GIORGI, 2004).

Os odores, quando detectados, podem causar impactos importantes na qualidade de vida (desde alterações de humor até problemas fisiológicos). (POWERS, 2004).

Para Belli Filho et al. (2001), em processos anaeróbios de tratamento de esgotos, os compostos odorantes provenientes da atividade bacteriana são: gás sulfídrico, mercaptanas, amônia, aminas com baixo peso molecular, indol, escatol, ácidos graxos voláteis, álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres.

Vários autores identificaram COV juntamente com H_2S , como sendo os principais estimulantes de odor em tubulações de esgoto e estações de tratamento aeróbico de águas residuárias (SMET e VAN LANGENHOVE, 1998).

Dentre estes gases produzidos por anaerobiose no esgotamento sanitário, pode-se destacar o gás sulfídrico, mais comumente conhecido como H_2S .

4.1.1. Caracterização dos Odores

Para o odor ser percebido, ele deve se apresentar no seu nível mínimo perceptível para que nosso organismo o detecte. Assim, abaixo é

apresentada a Tabela 1 adaptada de Belli Filho et al. (2001) com as características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de águas residuárias.

Tabela 1 - Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de águas residuárias.

Classe de composto	Composto	Característica dos odores	Limite olfativo (mg/N.m ³ de ar)
Enxofre	Gás Sulfídrico	Ovo podre	0,0001 a 0,03
	Metilmercaptana	Repolho, alho	0,0005 a 0,08
	Etilmercaptana	Repolho podre	0,001 a 0,03
	Dimetilsulfeto	Legume podre	0,0025 a 0,65
	Dietilsulfeto	Etéreo	0,0045 a 0,31
	Dimetildisulfeto	Pútrico	0,003 a 0,014
Nitrogênio	Amônia	Picante e irritante	0,5 a 37
	Metilamina	Peixe podre	0,0021
	Etilamina	Picante, amoniacal	0,005 a 0,83
	Dimetilamina	Peixe deteriorado	0,047 a 0,16
	Indol	Fecal, nauseante	0,0006
	Escatol	Fecal, nauseante	0,0008 a 0,10
	Cadaverina	Carne em decomposição	-
Ácido	Acético	Vinagre	0,025 a 6,5
	Butírico	Manteiga	0,0004 a 3
	Valérico	Suor	0,0008 a 1,3
Aldeídos e Cetonas	Formaldeído	Ocre, sufocante	0,033 a 1,12
	Acetaldeído	Maçã	0,04 a 1,8
	Butiraldeído	-	0,49
	Isovaleraldeído	Ranço	0,013 a 15
	Acetona	Fruta, maçã	0,072
Álcoois e Fenóis	Etanol	Fruta doce	1,1 a 240
	Butanol	-	0,006 a 0,13

Fenol	-	0,0002 a 0,004
Cresol	-	0,00001

Fonte: Adaptado de BELLI FILHO et al, 2001.

4.1.2. Percepção de Odores

Desde o nascimento, o homem possui o olfato, um sentido que permite perceber os odores que circulam na atmosfera que o entorna. Os mecanismos do olfato são complexos e ainda não totalmente conhecidos. (FERNANDEZ, 1997).

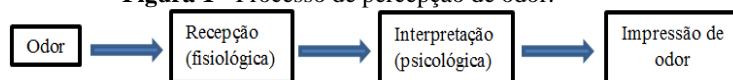
Para McGinley e McGinley (2002), dos cinco sentidos, o olfato é o mais complexo e único em estrutura e organização. O sistema olfativo emprega um papel maior como mecanismo de defesa, criando uma resposta de aversão aos odores irritantes.

Para Martin (1993), citado por Lopez (2001), a percepção olfativa ocorre devido a difusão dos compostos odorantes no muco que banha o epitélio olfativo, podendo interagir com as células sensoriais dos cílios olfativos. As substâncias são dotadas de propriedades eletrônicas e de polaridades tais, que sua interação com os receptores olfativos induz a uma corrente iônica transmembranar. O sinal recebido é depois transmitido ao longo da zona sensorial até o cérebro, gerando uma reação da pessoa.

Segundo Powers (2004) para que uma substância seja detectada como um odor pelas células receptoras, vários critérios devem ser seguidos:

- A substância deve ser volátil o suficiente para penetrar o ar próximo à área sensorial;
- A substância deve ser ao menos um pouco solúvel em água para passar pela membrana mucosa e pelas células olfativas;
- A substância deve ser lipossolúvel, devido ao fato dos cílios olfativos serem compostos primariamente por material lipídico;
- Um número mínimo de moléculas odorantes deve estar em contato com os receptores por certo período de tempo, permitindo as interações necessárias à percepção.

A Figura 1 mostra um simples modelo que descreve a percepção humana do odor.

Figura 1 - Processo de percepção de odor.

Fonte: STUETZ E FRENCHEN (2001).

4.1.3. Fontes Geradoras de Odor nos Sistemas de Esgotamento Sanitário

Nos sistemas de esgotamento sanitário as fontes geradoras de odores, principalmente de H_2S são variadas. Na Tabela 2 são apresentadas estas fontes e suas concentrações médias.

Tabela 2 - Fontes geradoras de odor.

Unidades do sistema de esgotamento	Concentrações médias	
	(mg/m ³)	(ppm)
Estação elevatória	4,8	3,47
Unidades de pré-tratamento	3,5	2,53
Decantador	0,5	0,36
Sistema de lodos ativados	0,4	0,29
Espessador de lodo	9,8	7,08
Sistema de desidratação de lodo	6,5	4,69
Sistema de disposição final de lodo	0,4	0,29

Fonte: Adaptado de BELLI FILHO et al., 2001.

4.1.4. Dimensões do Odor

Para Le Cloirec et al (1991), distinguem-se duas famílias de métodos para medir os odores: a primeira é constituída pelos métodos físico-químicos, que permitem identificar e quantificar, com o auxílio de instrumentos analíticos os diferentes compostos presentes no ar odorante, onde se encaixam a cromatografia gasosa, espectrometria de massa; e a segunda é a família dos métodos psicofísicos, que utilizam como instrumento para avaliação dos odores o nariz humano, este é o domínio da olfatometria.

As dimensões dos odores se referem aos parâmetros que medem e identificam um odor. Geralmente são consideradas dimensões de um odor: a concentração, a intensidade, o caráter, o tom hedônico e a persis-

tência. O efeito combinado dessas propriedades está relacionado ao poder de incômodo que pode ser gerado por um odor (GOSTELOW et al., 2001; WEF; ASCE, 1995).

A Tabela 3 a seguir apresenta os fatores que devem ser considerados para caracterização completa de um odor segundo NUVOLARI et al. (2003), citado em CARMO (2005).

Tabela 3 - Fatores considerados para a caracterização completa de um odor.

Fator	Descrição
Qualidade ou Caráter	Relaciona as associações mentais feitas pelas pessoas ao sentirem o odor; a determinação pode ser bastante subjetiva.
Detectabilidade ou concentração do odor	O número de diluições exigidas para se reduzir um odor ao mínimo que se pode detectar.
Hedonicidade	A relativa agradabilidade ou desagradabilidade do odor sentido pelas pessoas
Intensidade	A força do odor; normalmente medida com um olfatômetro, tendo como composto de referência o butanol, por diluição até o limiar olfativo.

Fonte: NUVOLARI et al (2003), citado em CARMO (2005).

4.1.5. Medição do Odor

4.1.5.1. Júri Olfatométrico

É a denominação que se dá a um conjunto de pessoas selecionadas e treinadas para expressar a sua opinião/impressão a respeito da presença ou ausência de odor nas amostras de gases analisadas (CARMO JR., 2005). Os jurados devem constituir-se numa amostra representativa da população padrão, quanto a sexo, categoria profissional, entre outros (PERRIN, 1994).

O júri descreve a intensidade do odor, comparando-a com as intensidades da escala de referência, não levando em conta sua qualidade (ou caráter) (DE MELO LISBOA, 2010).

Na realização de análises olfatométricas é necessária à participação de pessoas que possuam uma sensibilidade olfativa adequada para a função, não sendo essas nem muito nem pouco sensíveis aos estímulos odorantes. Para garantir esse perfil de jurado olfatométrico, os candidatos a compor o painel de jurados devem passar por um processo de certificação, que segue a norma CEN 13.725/2003. Segundo a bibliografia, fatores como o sexo e a idade podem influenciar no desempenho olfativo dos candidatos (GODKE, 2014).

4.1.5.2. Intensidade Odorante

É a força do odor (RIBEIRO, 2003). A intensidade percebida de um odor é relativa à sua força acima do limite de reconhecimento (CARMO JR., 2005).

A intensidade é a medida da força da sensação odorante e está relacionada à concentração do odor. Apesar disso, não é necessário conhecer a concentração odorante para determinar a intensidade de uma amostra. A intensidade do odor é diretamente percebida pelo receptor (WEF; ASCE, 1995).

A avaliação da intensidade odorífera pode ser desenvolvida utilizando-se o método do butanol, que permite comparar a amostra a ser analisada com padrões referenciais de odores. Este método vale-se uma escala de referência, com concentrações diferentes e conhecidas de soluções diluídas em água ou em ar inodoro (PERRIN, 2004).

A Tabela 4 apresenta as diluições em água destilada recomendadas conforme a norma francesa AFNOR (1993) para piridina e 1-butanol.

Tabela 4 - Intensidade de odores para Piridina e 1-Butanol.

Concentração (g/l)	Nível	Intensidade do odor
0,001	1	Muito Fraco
0,01	2	Fraco
0,1	3	Médio
1	4	Forte
10	5	Muito Forte

Fonte: (AFNOR, 1993) citado por BELLI FILHO e DE MELO LISBOA (1998).

Para avaliar a intensidade do odor de uma amostra inalada, o júri deve classificar sua impressão de acordo com o conceito especificado seguindo a escala apresentada pela VDI 3882- Parte 1- 1992 (determinação de intensidade de odor). A escala está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Escala de categoria do odor.

Odor	Nível de Intensidade
Extremamente Forte	6
Muito Forte	5
Forte	4
Distinto	3
Fraco	2
Muito Fraco	1
Não Perceptível	0

Fonte: VDI 3882 – Parte I (1992)

4.1.5.3. Hedonicidade

O valor hedônico é uma medida da agradabilidade e desagradabilidade de um odor, é derivado da palavra “hedonístico”. A palavra grega hedone significa prazer. O valor hedônico é independente do caráter do odor (MCGINLEY e MCGINLEY, 2000). A hedonicidade de um odor é imediatamente estimada, podendo ser agradável, aceitável, desagradável ou intolerante (FERNANDEZ, 1997).

Segundo Stuetz e Frenchen (2001), o valor hedônico é uma categoria de julgamento quanto à característica do odor de ser ou não prazeroso. A polaridade prazer/desprazer é acompanhada de forte regularidade na sensação olfativa. Certos autores consideram que a tonalidade hedônica dos odores é o resultado de uma aprendizagem associada à infância.

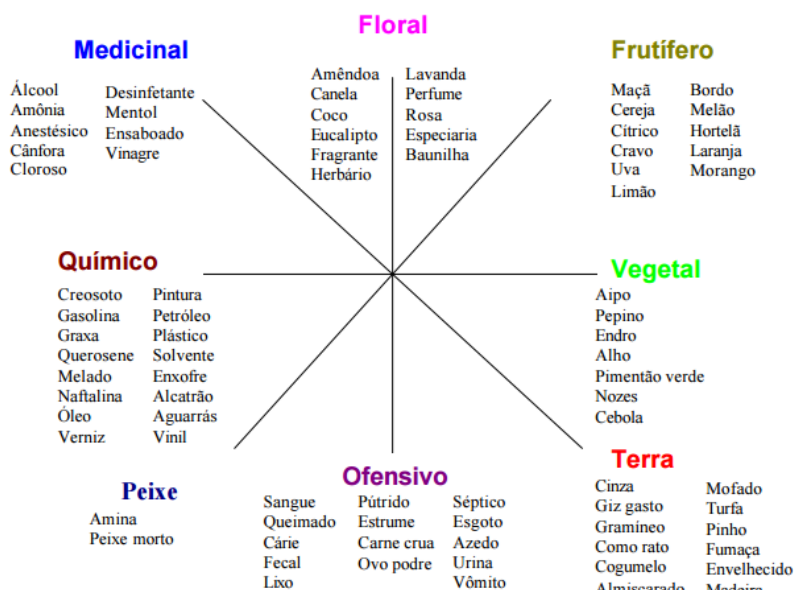
O tom hedônico é um parâmetro interessante de ser analisado juntamente à concentração odorante aceitável na vizinhança de empreendimentos emissores. Quando o odor emitido é prazeroso, as reclamações e incômodos relatados pela população costumam ser inferiores quando comparados a emissões de odores desagradáveis (NIMMERMARK, 2011).

4.1.5.4. Qualidade do Odor

A qualidade de uma substância odorante é uma medida inteiramente subjetiva. Nela usa-se uma linguagem de analogia baseada em interpretações pessoais (ex. cheiro de fruta, de peixe, de ovos, de menta). Essa característica influencia significativamente as respostas aos odores. O cheiro se “parece” com uma substância (STUETZ e FRENCHEN, 2001).

McGinley e McGinley (2002) citado em Carmo, 2005, destacam oito categorias reconhecidas da descrição do odor, em que são ilustradas como a “roda de odor”: vegetal, frutífero, floral, medicinal, químico, piscoso, ofensivo e térreo. São listadas descrições específicas do odor para cada categoria como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Roda de odor.



Fonte: McGinley C. e McGinley M., 2002, citado por CARMO (2005).

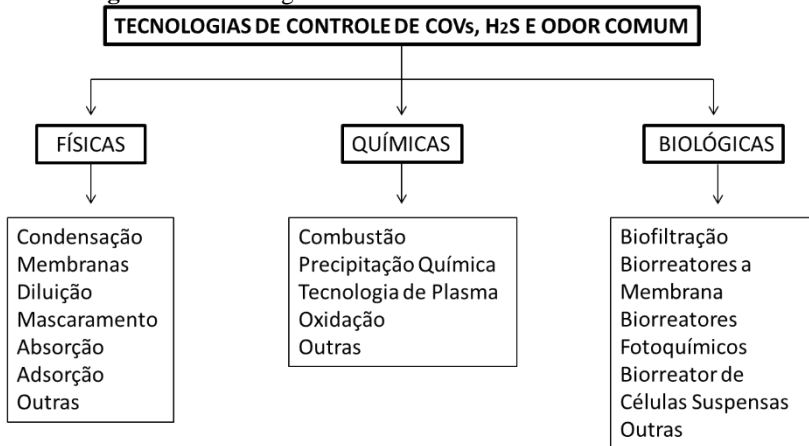
4.2. ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE ODORES

As alternativas para tratamentos de odores são muitas. A escolha de uma tecnologia leva em conta a vazão do gás, a concentração do poluente e o próprio poluente. As tecnologias mais utilizadas variam entre tratamentos físicos e químicos. Na Figura 3 são apresentadas as tecnologias mais utilizadas para o tratamento de odores.

A vantagem mais importante dos métodos de tratamentos biológicos em relação às tecnologias físicas e químicas é que os processos biológicos podem ser conduzidos a temperaturas ambientes (10°C - 40°C) e a pressão atmosférica. Os métodos biológicos são baratos, simples de operar e ecologicamente corretos, em comparação com os tratamentos físico-químicos (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

Para Revah e Morgan-Sagastume (2005), a classificação de uma tecnologia baseia-se na natureza de cada tecnologia de controle, físico, químico ou biológico. Geralmente, os processos físicos são aplicados para correntes de gás de resíduos, onde o fluxo e a concentração de poluente sejam altos. Os parâmetros importantes para o tratamento biológico são a solubilidade e a biodegradabilidade dos compostos.

Figura 3 - Tecnologias mais utilizadas no tratamento de odores.

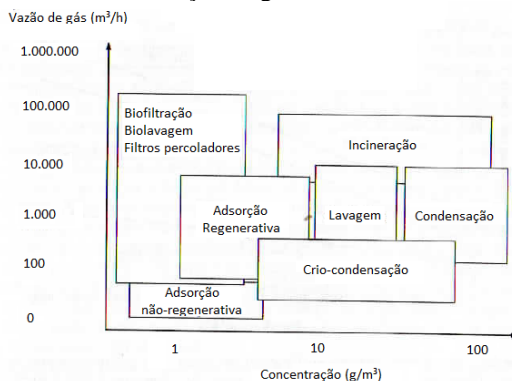


Fonte: Adaptado de REVAH e MORGAN-SAGASTUME (2005).

A tecnologia adequada deve ser escolhida de acordo com a concentração a vazão e a temperatura do gás a ser tratado, e também a eficiência requerida. Com isso, ainda deve-se levar em conta os custos de implantação e operação.

A Figura 4 apresenta qual alternativa de tratamento de odor deve ser aplicada de acordo com a vazão do gás, a aplicabilidade de cada alternativa de tratamento de odores, de acordo com a vazão do gás ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) e a sua concentração ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$).

Figura 4 - Alternativas para tratamento de odores baseadas na vazão e concentração do gás.



Fonte: Adaptada de DEVINNY et al (1999 citado em SANTOS, 2014).

No que tange a parte de custos, a Tabela 6, de Le Cloirec et al. (1991), traz os custos de cada tecnologia por unidade volumétrica de gás tratado. Através da leitura da tabela abaixo pode-se observar que a biofiltração é a alternativa mais econômica.

Tabela 6 - Custos de tecnologia por unidade volumétrica de gás tratado.

Processos	Investimento	Funcionamento	Custo total
	(U\$/ (m^3/h))	(U\$/ 1000m^3)	(U\$/ 1000m^3)
Incineração Térmica	5,27 a 6,15	0,61 a 0,75	4,0 (custo somente de combustível)
Incineração catalítica	6,15 a 7,03	0,57 a 0,66	-
Adsorção	2,20 a 8,79	0,22 a 0,44	0,66 (inclui regeneração por aquecimento)
Absorção	3,52 a 4,40	0,35 a 0,44	4,2 (combinado com cloro)
Ozonização	2,64 a 3,52	0,18 a 0,26	4,2

Biofiltro	1,32 a 4,40	0,13 a 0,22	0,6
-----------	-------------	-------------	-----

Fonte: LE CLOIREC et al (1991 citado em BELLI FILHO, 2001).

4.2.1. Métodos Físico-Químicos

4.2.1.1. Condensação

Para Kennes et al (2001) a condensação pode ocorrer através de uma redução da temperatura do fluxo de gás à pressão constante, ou aumentando a pressão da corrente de gás à temperatura constante.

É aplicado para tratar correntes de efluentes constituídos por um vapor condensável poluente e um gás não condensável (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.1.2. Membranas

Trata-se do uso de uma membrana semi-permeável para separar COV de uma corrente de gás residual. Uma membrana semi-permeável é feita de polímeros sintéticos enrolados em torno de um tubo central de coleta perfurado (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.1.3. Diluição

A diluição pode ocorrer por meio da adição de ar fresco suficiente para reduzir a concentração de odor abaixo do nível de limite (CORBITT, 1990).

O método é útil em certas aplicações para reduzir o risco de explosão e não pode ser considerado como um método de tratamento, uma vez que a poluição permanece sem tratamento (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.1.4. Plasma

Plasma é uma mistura de elétrons livres em movimento e íons carregados positivamente. Plasmas não-térmicos são uma excelente fonte de radicais livres na fase gasosa (H, O, OH) e outras espécies ativas

utilizadas para destruir poluentes (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.1.5. Adsorção

Adsorção refere-se ao processo em que as moléculas gasosas de Compostos Orgânicos Voláteis entram em contato com a superfície de um adsorvente sólido e aderem a este através de forças intermoleculares fracas (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.1.6. Mascaramento

O processo de mascaramento envolve as moléculas odoríferas com uma molécula mais forte, a qual domina as moléculas mais fracas (PLANKER, 1998).

Em adição aos agentes de mascaramento, outros produtos de desodorização estão disponíveis no mercado. Alguns deles agem como substâncias químicas (reações ácido/básicas) e podem ser eficazes contra H_2S e MESH (metil-mercaptana), enquanto outros têm propriedades enzimáticas (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

4.2.2. Processos Biológicos

Sistemas de tratamento de ar biológicos baseiam-se na capacidade dos microrganismos de transformar certos poluentes orgânicos e inorgânicos em compostos menos tóxicos e inodoros.

Para a eliminação de compostos voláteis do ar é necessário, primeiro, que o poluente gasoso seja transferido a partir da corrente de ar para a fase aquosa biologicamente ativa. Em seguida, os microrganismos utilizam estas moléculas como uma fonte de nutrientes e de energia para seu crescimento, produzindo mais biomassa e dióxido de carbono, água, nitratos, sulfatos, etc., como subprodutos (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005).

Em sistemas de tratamento de ar biológicos, os poluentes não podem ser degradados diretamente na fase gasosa, de modo que os compostos, incluindo oxigênio, têm primeiro de ser transferidos para a fase líquida onde os micróbios, crescendo em suspensão ou ligados a um meio suporte, irão atacá-los (REVAH; MORGAN-SAGASTUME, 2005). Atualmente, existem alguns sistemas de tratamento que realizam esta transferência, entre eles pode-se destacar a biolavagem, o biopercolador e a biofiltração.

4.2.2.1. Biofiltração

A biofiltração é uma tecnologia emergente energeticamente, eficiente para o controle de compostos orgânicos voláteis (COV), gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3). Ela tem sido usada extensivamente por mais de 40 anos na Europa e nos EUA para o controle de odores de instalações de tratamento de águas residuais, unidades de transformação, instalações de compostagem e outras operações produtoras de odor. Desde o início do século, tem sido usada cada vez mais nos EUA para o tratamento de grandes volumes e para correntes de ar de baixa concentração. Inúmeros estudos estão sendo realizados para caracterizar a sua adequação para uma ampla variedade de aplicações de controle de emissão de ar (ADLER, 2001).

Na Europa, a biofiltração tem sido usada com sucesso para controlar odores, os poluentes atmosféricos, orgânicos e inorgânicos, que são tóxicos para os seres humanos, bem como compostos orgânicos voláteis (COV) a partir de uma variedade de fontes industriais e do setor público. (LESON; WINER, 2012)

Biofiltração é um termo geral aplicado para a conversão de compostos químicos na fase gasosa para produtos comuns de degradação biológicas, como dióxido de carbono, água e sais inorgânicos. Ela se baseia em dois mecanismos primários fundamentais, a sorção e a biodegradação. (ADLER, 2001)

Um biofiltro para o controle de poluentes do ar consiste em um ou mais leitos de material biologicamente ativo, principalmente com base em misturas de composto, turfa ou solo. Camas de filtro são tipicamente de 1 metro de altura. (LESON; WINER, 2012)

A técnica de desodorização por biofiltração consiste na passagem do ar com gases odorantes através de um meio suporte, geralmente constituído por materiais orgânicos e inorgânicos, onde os microrganismos ficam aderidos na forma de biofilme (BELLI FILHO e LISBOA, 1999). Para Chernicaró (2001), a biofiltração é a passagem de um gás, carregado com poluente, através de um meio suporte úmido, geralmente de origem natural, onde estão fixados os microrganismos.

Segundo Adler (2001), o gás contaminado passa através de um pré-condicionador para remoção de partículas e umidificação (se necessário). O fluxo de gás condicionado é então enviado para o inferior de um leito de solo, turfa, material orgânico de compostagem (como madeira ou resíduos gramado), carvão ativado, embalagem de cerâmica ou de plástico, ou outros meios inertes ou semi-inertes. O leito fornece uma

superfície para fixação e crescimento de microrganismos. A corrente de gás de saída é normalmente forçada ou induzida através do sistema com um soprador/ventilador.

Uma vez absorvidos na camada de biofilme ou dissolvidos na camada de água em torno do biofilme, os contaminantes estão disponíveis para os microrganismos como fonte de alimento para suportar a vida e o crescimento microbiano. O ar que é livre, ou quase livre de contaminantes é, então, exaurido do biofiltro (ADLER, 2001).

O calor gerado pela reação biológica e a umidade do ar de entrada determina a taxa de perda e exigências para restauração de água (MORALES et al., 2003).

Para Cardenas-Gonzalez et al (1999) os suportes bacterianos podem ser bioativos naturais ou inertes. Os suportes bioativos naturais podem ser solo, turfa, composto, casca, etc., os quais podem reter a água e, geralmente, contêm nutrientes minerais suficientes para suportar uma população microbiana ativa inicial. O suporte natural pode se degradar com o tempo, perdendo sua estrutura e a capacidade de retenção da água, induzindo a canalização e a perda de desempenho (MORGAN-SAGASTUME et al., 2003). Em alguns casos, a remistura do suporte com material fresco e nutrientes permite recuperar a atividade (AURIA et al., 2000).

Suportes naturais inertes ou sintéticos têm sido explorados para serem usados em biofiltros. Estes materiais porosos, tais como carvão ativado, cerâmica, rocha de lava e espuma de poliuretano, não disponibilizam certos nutrientes para sustentar a atividade microbiana e, portanto, faz-se necessário adicioná-los intermitentemente. Por outro lado, eles não são degradados e, em teoria, podem ser modificados para terem propriedades ótimas, tais como perda controlada, porosidade, capacidade de adsorção, etc. (KENNES e VEIGA, 2002).

Apesar de demandar uma maior área para sua implantação do que as torres lavadoras, a biofiltração possui como principais vantagens os menores custos de investimento e operação, maior simplicidade de operação e manutenção e não geração de resíduos químicos que precisem ser tratados e destinados adequadamente (ARNESEN e SAMPAIO, 2013).

Dentre as técnicas existentes, os biofiltros são os que reúnem o maior conjunto de vantagens para o tratamento de gases residuais emitidos de reatores anaeróbios para tratamento de esgoto doméstico quando considerados fatores como sustentabilidade, simplicidade e baixos custos de implantação e operação (CHERNICARO, 2010).

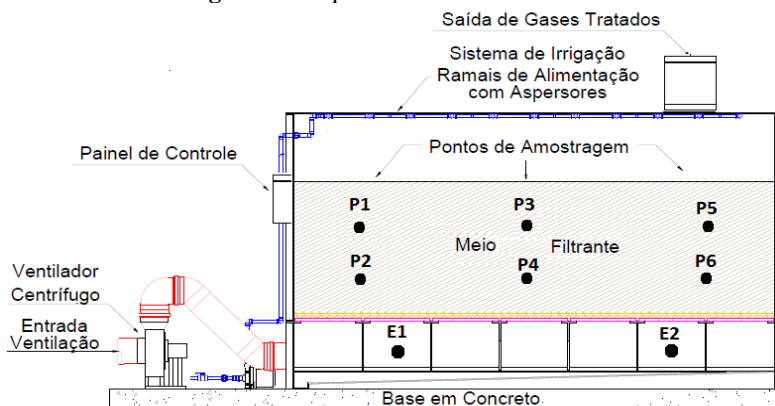
A Tabela 7 apresenta as vantagens e desvantagens da biofiltração.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens da biofiltração no tratamento de odores.

Vantagens	Desvantagens
Baixos custos de implantação e operação	Meio filtrante com durabilidade temporária
Elevada remoção efetiva de compostos	Não adequado para altas concentrações
Baixa perda de carga	Dificuldade de controle de umidade e pH
Não gera efluente	Partículas sólidas podem colmatar o meio filtrante

Fonte: Adaptado de DEVINNY *et. al.* (1999)

Para ilustrar um biofiltro, na Figura 5 é apresentado o esquema de biofiltro fechado.

Figura 5 - Esquema de biofiltro fechado.

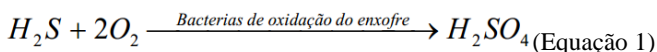
Fonte: SANTOS (2014).

Mecanismo de Tratamento dos Gases Odorantes

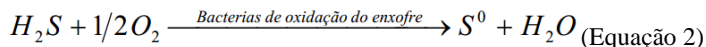
O mecanismo de tratamento de gases odorantes baseia-se na oxidação destes compostos visando transformá-los em compostos inertes no que tange a percepção odorante dos mesmos.

Para Belli Filho et al (2001), a biofiltração em seu princípio reproduz os processos de absorção, adsorção e degradação microbiana, que são realizados naturalmente nos solos e nas águas. Os processos biológicos de tratamento de gases consistem na transferência de compostos voláteis, com maus odores, para uma fase líquida e, em seguida, na degradação, por meio de microrganismo.

A oxidação do H_2S é feita principalmente por bactérias do gênero *Thiobacillus* e alguns fungos, que usam o enxofre como uma fonte de energia e convertem o gás sulfídrico em ácido sulfúrico (H_2SO_4), conforme a Equação 1 (YANG et. al, 2002, citado em CABRAL, 2003).



Segundo Cabral (2003), em condições desfavoráveis, a oxidação pode ocorrer apenas parcialmente, obtendo-se como produto final o enxofre elementar, conforme a Equação 2.



Critérios de Projeto

a) Umidade

Para a atividade biológica e a absorção do gás, é indispensável uma umidade de 40 a 60 % (BELLI FILHO et al, 2001).

Segundo Von Bernuth et al (1999 citado em Cabral, 2003), a manutenção de uma atividade microbiana requer níveis de umidade de 40 a 70%. A umidade demasiada pode causar compactação do meio filtrante, tendo como consequência baixa porosidade, queda de pressão e um fluxo de ar comprometido.

b) Temperatura

Para Le Cloirec et al (1991), a escala de temperatura para biofiltração varia de 15 a 40° C , com a temperatura ótima entre 30 e 40°C de acordo com Leson e Winer (citado em Cabral, 2003). A queda da temperatura para menos de 10°C, causa uma perda parcial na eficiência do biofiltro (LE CLOIREC et al, 1991).

c) pH

Estudos realizados por SHOWENGERDT et al (2000 citado por Cabral, 2003), indicam, que a biodegradação do gás sulfídrico não é afetada por um pH na faixa de 1,0 -2,0.

Algumas espécies do gênero *Thiobacillus* são capazes de oxidar o gás sulfídrico a níveis baixos de pH. *Thiobacillus thiooxidans*, em particular, cresce em um ambiente de pH menor que 3,0 e não inibe seu crescimento até que o pH alcance um valor menor que 1,0. (DEVINNY et. al., 1999).

d) Vida útil do leito filtrante

A durabilidade do meio filtrante depende do tipo de substrato utilizado, podendo variar de dois até mais de 30 anos, sendo que para a turfa a durabilidade média é de 2 a 4 anos (DEVINNY et al, 1999).

Para Schmidt et al (2000, citado em Cabral, 2003), a vida do meio filtrante é limitada, variando entre 3 a 5 anos.

4.3. SULFETO DE HIDROGÊNIO (H_2S)

O H_2S é resultante da redução biológica do sulfato (SO_4^{2-}) ou tiossulfato e é o composto odorante mais comumente associado aos odores do esgoto, embora outros compostos à base de enxofre também possam contribuir para estes odores (VAN LANGENHOVE e HEYDER, 2001). Para Silva (2008), o sulfeto de hidrogênio é altamente tóxico aos seres humanos, porque se combina com o ferro do citocromo e outros compostos essenciais que contêm ferro na célula. Apesar de sua alta toxicidade, seus efeitos intervêm somente a concentrações dezenas de vezes superiores aos limites de percepção olfativa (CARVALHO, 2001).

O sulfeto de hidrogênio é um gás muito tóxico que possui um odor característico de "ovo podre" (GODINSH, 1991).

A Tabela 8 apresenta os sintomas de exposição ao H_2S de acordo com a concentração.

Tabela 8 - Sintomas observados devido à exposição ao H_2S de acordo com a concentração.

Concentração de H_2S (ppmv)	Sintomas resultantes da exposição
0,3 - 30	O odor é obvio e desagradável
50	Irritação nos olhos, secura e irritação do nariz e garganta
Acima de 50	Irritação do sistema respiratório
100 - 150	Perca temporária do olfato
200 - 250	Dor de cabeça, vômito e náusea. A exposição prolongada pode causar danos ao pulmão. Exposições de 4 a 8 horas podem ser fatais
300 - 500	Ataque rápido dos sintomas, a morte ocorre entre 1 e 4 horas.
500	Dor de cabeça, excitação, travamento, dor no estômago após rápida exposição. A morte ocorre entre meia e 1 hora.
> 600	Rápida perda de consciência, coma e morte.
> 1000	Imediata falha na respiração

Fonte: OSHA et al. (2002), citado por TACLA (2004).

5. MATERIAIS E MÉTODO

5.1. O BIOFILTRO

O presente trabalho de conclusão de curso avaliou o biofiltro (Figura 6e 7) instalado na Unidade CIOM (Centro Integrado de Operação e Manutenção) da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), o qual se localiza no bairro Estreito, Florianópolis.

Nesta unidade encontra-se uma estação elevatória de esgotos, a última antes da estação de tratamento. Sendo assim, esta estação é con-

siderada de grande porte, devido ao volume de esgoto que passa por ela. Além deste motivo, e também pela unidade estar instalada em uma zona residencial, é que este foi o local escolhido para a instalação do biofiltro, visto que a população das proximidades e os trabalhadores da CASAN estavam expostos a concentrações de sulfeto de hidrogênio, diariamente.

Este projeto tem como órgão financiador o FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina e a empresa Multiágua Engenharia Ambiental, localizada em Blumenau – SC.

Figura 6 - Vista frontal do biofiltro.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 - Vista lateral do biofiltro.



Fonte: Próprio autor.

O biofiltro é uma unidade modular, o modelo apresentado acima foi escolhido devido à facilidade de instalação, transporte e comercialização. Sua estrutura é de aço carbono galvanizado a fogo, suas paredes e telhado de polipropileno, totalizando uma área superficial de 6m^2 . A forma do biofiltro é retangular, para que se tenha um melhor aproveitamento do espaço, e também caso haja necessidade de instalação de mais uma unidade este formato facilita a implantação. Neste sistema optou-se como material filtrante a turfa natural do tipo fibra-flor. A camada filtrante tem 1m de espessura, totalizando 6m^3 de volume e grãos com diâmetro variando entre 7 e 12mm. A turfa está assentada sobre uma camada suporte de cavaco de madeira, com espessura de 15cm.

Para a sucção dos gases odorantes, a estação elevatória foi vedada e os gases direcionados para uma tubulação de PVC de 200mm de diâmetro. Para que os gases entrem na tubulação, foi instalado um ventilador centrífugo industrial de 0,5CV na entrada do biofiltro. Este ventilador succiona os gases da estação direcionando-os para o tratamento. Como o sulfeto de hidrogênio tem propriedades corrosivas, a carcaça e o rotor do ventilador foram fabricados em fibra de vidro, evitando assim o desgaste dos mesmos. O controle da vazão de gases acontece no próprio ventilador, o qual é dotado de um inversor de frequência, que regula a vazão de acordo com a necessidade.

A distribuição do gás depois de succionado se dá por orifícios na camada suporte, os quais difundem o gás de maneira igualitária e assim o tratamento ocorre em todas as partes da camada filtrante, da mesma

maneira. Posteriormente, os gases já tratados saem pela chaminé, a qual está localizada na parte superior do biofiltro. O sistema também conta com irrigação automatizada com sondas da marca Rainbird, as quais medem a umidade relativa da camada filtrante, a condutividade e a temperatura da mesma. O acionamento da bomba de irrigação (potência de $\frac{3}{4}$ CV) é comandado pelos sensores das sondas, os quais enviam um sinal para o temporizador assim que a turfa chega a uma umidade relativa crítica, estabelecida pelos operadores. O tempo de irrigação também é pré-estabelecido por quem opera o biofiltro. A água para irrigação vem da rede pública de abastecimento e é distribuída por aspersores que ficam próximos ao teto do biofiltro e formam uma “nuvem” de água, tornando assim a irrigação uniforme.

A parte inferior do biofiltro possui um dreno, dotado de um registro esfera de PVC, o qual se destina a coleta do efluente percolado. Este efluente é o excesso de água irrigada que percola sobre o leito filtrante.

Na parte lateral, o biofiltro conta com oito pontos de inspeção, os quais servem para monitoramento das concentrações de H_2S e coleta de material filtrante para ensaios laboratoriais.

5.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O dimensionamento da unidade modular se deu pelo número de renovações do ambiente confinado (poço úmido da estação elevatória). O poço úmido da estação tem $142m^3$ e faz cinco renovações por hora. Assim sendo, a vazão nominal do gás é de aproximadamente $720m^3/h$, podendo variar de acordo com a estação do ano e o horário do dia.

5.3. OPERAÇÃO

A operação do biofiltro é simples, visto que o mesmo é quase na sua totalidade automatizado. Alguns parâmetros devem ser definidos periodicamente quando têm-se a troca das estações do ano, como umidade relativa crítica, umidade real, e monitorados diariamente.

Após a instalação do biofiltro, o monitoramento foi iniciado, sendo este feito diariamente excetuando-se os finais de semana e dias muito chuvosos, já que a chuva poderia causar problemas nos aparelhos de medição.

5.4. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para monitoramento da eficiência do biofiltro foram adotados métodos de análise físico-químicos, os quais foram feitos rotineiramente.

5.4.1. Concentração de H_2S

A concentração do sulfeto de hidrogênio foi mensurada através do uso do aparelho da marca Jerome, modelo 631-X (Figura 8), fabricado pela Arizona Instruments. O aparelho mensura as concentrações de H_2S numa faixa de 0,003 a 50ppm.

Figura 8 - Jerome 631-X.



Fonte: Próprio autor.

A leitura da concentração de H_2S é feita indiretamente pelo aparelho através da determinação da resistividade elétrica do ouro, o qual está presente no aparelho na forma de fio. Pois sabe-se que o ouro tem variação na sua resistividade elétrica proporcional a concentração de H_2S do meio.

As medições foram feitas em treze pontos, destes, três encontram-se nas proximidades do biofiltro e os demais fazem parte do mesmo, como a chaminé de saída dos gases, um ponto na tubulação de condução do gás, seis pontos na lateral do biofiltro na altura da camada

filtrante e os outros dois pontos na parte anterior a camada suporte. As medidas sempre foram feitas em triplicata, sendo considerada sempre a média dos valores encontrados, diminuindo assim os possíveis erros de medição.

Nas medidas feitas na lateral do biofiltro e nas anteriores à camada suporte fez-se uso de um adaptador para o Jerome, com a finalidade de evitar que os gases provenientes do tratamento pudessem sair para a atmosfera. A frequência de medição foi diária, excetuando-se os finais de semana e dias chuvosos, nos quais a chuva poderia danificar o aparelho.

5.4.2. Vazão de Gás de Entrada

A vazão do gás de entrada foi mensurada através de um termômetro da marca KIMO, modelo MP-200 (Figura 9), no ponto de inspeção localizado na tubulação de PVC condutora do gás até o biofiltro. Este aparelho também fornece os dados como temperatura do gás, velocidade e pressão.

Figura 9 - Aparelho KIMO, modelo MP-200.



Fonte: Próprio autor.

5.4.3. Caracterização da Turfa in situ

Para se observar as condições de operação do aparelho foi feita a caracterização da turfa in situ através da instalação de um controlador de solos automatizado, da marca RainBird, modelo SMRT-Y (Figura 10).

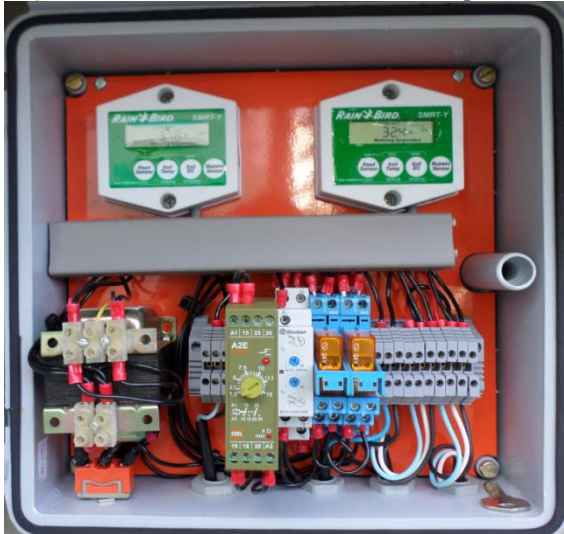
A umidade do solo é medida através de um sensor de umidade, que utiliza o método de transmissometria de análise temporal digital. A umidade foi monitorada de forma automática e instantânea durante o monitoramento do sistema. O sensor do sistema fica enterrado no meio da camada filtrante, ou seja, a 50cm de profundidade e efetua leituras num intervalo de 10 minutos. A partir do momento que é detectado que a umidade do solo está menor do que a estipulada no painel pelo operador, é acionada a bomba para efetuar a irrigação da camada filtrante. O tempo de irrigação é determinado pelo operador e pode ser ajustado no painel de controle do aparelho (Figura 11). Devido à automatização do processo de medição da umidade pode-se notar que foi reduzida a necessidade de manutenção e mão-de-obra de operação do equipamento. Além de fornecer a umidade, o controlador de solos RainBird fornece dados, como temperatura e condutividade da camada filtrante.

Figura 10 - Ilustração do controlador de solos SMRT-Y e sua sonda.



Fonte: Próprio autor.

Figura 11 - Controladores de umidade e temporizador.



Fonte: Próprio autor.

5.4.4. Umidade Real da Turfa

A fim de se obter melhores resultados, foram efetuadas análises laboratoriais para determinação da umidade real da turfa, visto que a sonda RainBird não fornecia este dado com exatidão. As análises foram feitas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) nas dependências do Departamento de Engenharia Sanitária (ENS) na Universidade.

A determinação da umidade real foi feita de acordo a norma Standard Methods, utilizando o procedimento para determinação dos sólidos totais, no qual, a umidade é determinada subtraindo-se os sólidos totais de 100%.

As determinações de umidade real foram feitas sempre em duas amostras para cada ponto de inspeção, resultando no total de doze amostras. O procedimento consistiu em coletar as amostras in situ, acondicioná-las em sacos plásticos fechados, para evitar a perda de umidade por evaporação e levá-las ao laboratório, onde foram maceradas, para reduzir sua granulometria e facilitar a secagem. Inicialmente, os cadinhos foram numerados e colocados na estufa, a 105°C, por trinta minutos, para que a umidade presente nos mesmos fosse removido. Posteriormente, os cadinhos foram colocados no dessecador por vinte minutos e passado este tempo foram pesados em uma balança de precisão de quatro

dígitos. Então, iniciou-se o procedimento com a turfa, a qual foi adicionada aos cadinhos e o conjunto (cadinho + turfa úmida) foi pesado. Fez-se novamente o processo de secagem na estufa, embora desta vez, as amostras ficaram por vinte e quatro horas na mesma. Após este período, as amostras foram colocadas no dessecador, por mais vinte minutos e, por fim, pesadas na balança de precisão. As umidades foram obtidas utilizando as equações 3 e 4, apresentadas abaixo. A determinação da umidade real da turfa foi feita sempre que necessário.

$$\text{Sólidos Totais} = \frac{(A-B)}{(C-B)} * 100 \text{ (Equação 3)}$$

$$\text{Umidade Real} = 100 - \text{Sólidos Totais} \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

B = Peso do cadinho;

C = Peso do cadinho mais a turfa úmida;

A = Peso do cadinho mais a turfa seca.

Foram feitas ao todo quinze análises ao longo de um ano, desde novembro de 2013 até dezembro de 2014.

5.4.5. pH do Efluente Percolado

As análises de pH do efluente percolado foram realizadas sempre que o próprio fosse coletado do dreno, localizado no fundo do biofiltro. Esta medição foi feita apenas para monitoramento já que o pH do percolado não afeta o funcionamento do sistema. As análises foram feitas com um pHmetro de bancada, no laboratório da CASAN.

5.4.6. Análises Olfatométricas

As análises olfatométricas levam em conta a percepção humana do odor. Estas análises não fazem uso de aparelhos para mensurar a concentração de gases, e sim do sistema olfativo humano.

O sistema olfativo humano é o único capaz de caracterizar precisamente um gás, mesmo que este não cause incômodo.

Para as análises olfatométricas foi selecionado um júri móvel de doze trabalhadores da CASAN, já que os mesmos ficam expostos ao odor diariamente. Este júri respondeu a questionários de intensidade e hedonicidade, caracterizando assim o odor de acordo com sua percepção.

5.4.6.1. Intensidade Odorante

A avaliação olfatométrica da intensidade é feita através da calibração dos jurados, os quais são expostos a diferentes soluções de 1-Butanol. Foram preparados cinco frascos com diferentes concentrações de 1-Butanol diluídas em água destilada. Cada frasco tem uma intensidade odorante característica, devido às diferentes diluições. Os frascos variam numa escala de muito fraco a muito forte, de acordo com a concentração de 1-Butanol presente. A escala e as diluições são apresentadas na Tabela 9.

Antes das análises iniciarem, os jurados, membros do corpo técnico da CASAN, eram levados ao laboratório da mesma e submetidos ao processo de calibração com a substância 1-Butanol. Neste processo, os jurados eram apresentados aos frascos de diferentes intensidades e orientados a fixar a intensidade do odor e não sua agradabilidade. Após o processo de calibração, os jurados foram levados até o biofiltro onde avaliaram primeiramente o pós-tratamento, evitando assim, a saturação do sistema olfativo, e posteriormente o pré-tratamento. Para finalizar a análise, os jurados respondiam a um questionário de intensidade odorante (apresentado no Anexo III deste trabalho) referente ao que sentiram anteriormente. Este modelo de avaliação, a partir de questionário, segue o procedimento recomendado pela norma americana ASTM E-544-75 (1997). Os questionários foram aplicados com uma frequência quinzenal, sendo que as análises foram canceladas em dias chuvosos.

Tabela 9 - Níveis de Intensidade de Odor.

Nível de Intensidade	Concentração de 1-Butanol (g/L)	Intensidade odorante
1	0,001	Muito fraco
2	0,01	Fraco
3	0,1	Médio
4	1	Forte
5	10	Muito forte

Fonte: Adaptado de Belli Filho e Melo Lisboa, 1998.

5.4.6.2. *Caráter do Odor*

O caráter do odor é uma adaptação da rosa dos odores, a qual é uma categoria de julgamento do odor no que se refere-sea lembrança que o odor causa de alguma substância já conhecida pelo indivíduo. O caráter odorante é a opinião pessoal do jurado quando o odor faz lembrá-lo de alguma substância, como por exemplo, cheiro de ovo podre, esgoto, óleo queimado, urina, entre outros.

A avaliação destes dois parâmetros foi feita através da aplicação de um questionário (Anexo IV) o qual foi norteado pelas “Metodologias Olfatométricas para Avaliação de Impacto Odorante”, publicadas pelo Laboratório de Controle da Qualidade do Ar da UFSC. Este questionário foi aplicado nos mesmos dias e, portanto, na mesma frequência que o questionário de intensidade.

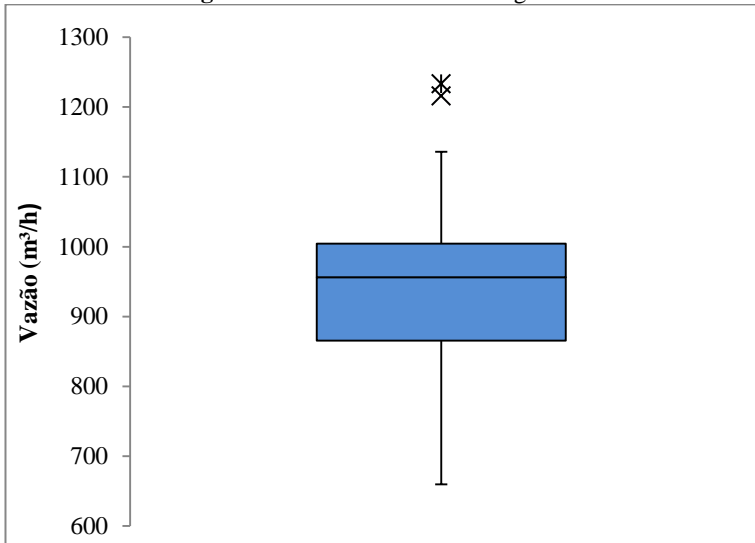
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. VAZÃO DE GÁS DE ENTRADA

A vazão de gás odorante medida com o aparelho KIMO-200 foi monitorada em um ponto anterior ao tratamento. Já que o ventilador centrífugo operou normalmente na frequência de 40Hz esperava-se a constância na medição de vazão. Em média o valor de vazão ficou próximo aos 938 m³/h.

A vazão de gás de entrada, apesar de ser estipulada no projeto em 720m³/h passou, na maioria das vezes deste valor. Entretanto, isso não fez com que o sistema perdesse eficiência, mostrando que o mesmo pode trabalhar em baixas e grandes variações de vazão de gás de entrada.

Pode-se observar na Figura 12 que a vazão pouco variou, excetuando-se alguns pontos discrepantes. O gráfico mostra que 50% dos dados estão acima da mediana, ou seja, estes valores ficaram acima dos 950 m³/h e abaixo dos 1200m³/h.

Figura 12 - Gráfico de vazão de gás odorante.

6.2. UMIDADE REAL DA TURFA

Após a instalação do biofiltro, observou-se que a sonda controladora de umidade (Rainbird) tinha um padrão de medição diferente da umidade real e, deixava assim, a umidade da turfa abaixo do esperado, sendo que esta deveria permanecer entre 40% e 60%. Com a discrepância no sistema de medição de umidade, tornou-se necessário realizar análises laboratoriais de umidade, para verificação da umidade real da turfa, para que se pudesse gerar uma curva de calibração do aparelho e assim, quando fosse acionada a irrigação, a turfa atingisse a umidade ideal para o funcionamento do sistema.

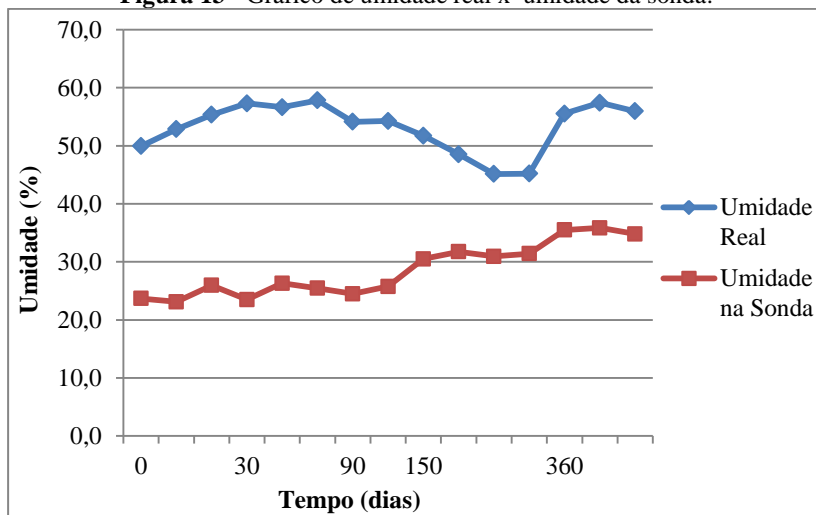
Para gerar a curva de calibração, no mesmo dia da leitura dos controladores, foi realizada a coleta de turfa nos seis pontos de inspeção do sistema (P1, P2, P3, P4, P5 e P6). Estas amostras foram levadas ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e prosseguiu-se com as análises de umidade. Após os resultados laboratoriais serem obtidos, gerou-se um gráfico que confronta os dados da umidade real do sistema, analisada em laboratório, e a umidade mensurada através da sonda Rainbird, mas quando o gráfico foi gerado observou-se que não havia uma linearidade entre as curvas a ponto de existir uma relação entre os

valores de umidade real e a mensurada pela sonda. Então, a curva de calibração do aparelho foi descartada e prosseguiu-se fazendo algumas análises laboratoriais a fim de manter a umidade da turfa ideal.

Com o passar do tempo de operação e a mudança nas estações do ano, foi observado que conforme a temperatura ambiente se alterava, a umidade crítica do sistema deveria ser alterada nos controladores para que a turfa não saísse da zona de umidade ótima (40% e 60%). Então, foi adotado um padrão de aumento ou redução de 2,5% na umidade crítica do sistema sempre que a turfa saísse da zona de umidade ótima, o que ocorria normalmente com as mudanças de estação.

A Figura 13 apresenta a curva de umidade real x umidade da sonda.

Figura 13 - Gráfico de umidade real x umidade da sonda.



6.3. EFLUENTE PERCOLADO

O pH do efluente percolado não é um parâmetro de projeto que se tem controle, já que este depende do composto que é formado pelas bactérias após o tratamento do gás. Neste caso, o composto formado era o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o qual por ser solúvel em água, deixava o pH do efluente ácido.

A média mensal de volume drenado foi de 5,57l e o pH médio foi de 1,08.

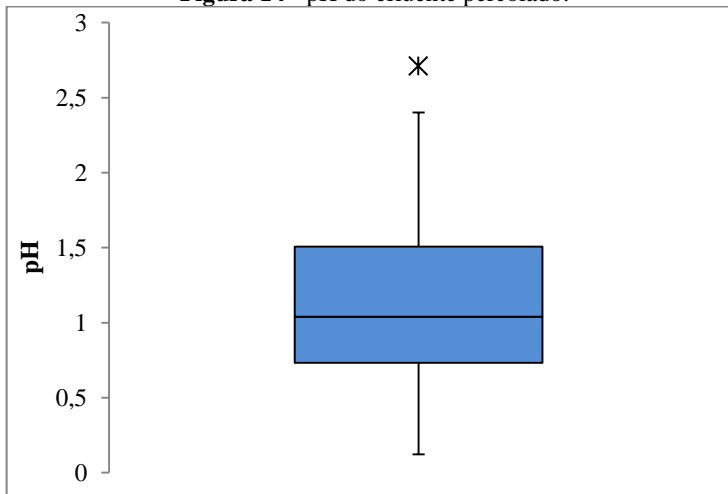
O pH do efluente percolado ficou sempre abaixo de 3,0, como indica a bibliografia para este tipo de sistema. Como o volume de efluente

era sempre pequeno, este era jogado no poço da elevatória, o que não afetava o tratamento posterior do esgoto na estação. Entretanto, deve-se ater aonde o efluente é despejado, para que não interfira no meio ambiente local, levando em conta sua fauna e flora.

A Figura 14 apresenta o valor de pH obtido através de análises laboratoriais com pHmetro.

Pode-se observar no gráfico boxplot que a mediana está quase na metade da caixa, ou seja, a dispersão dos valores de pH é muito próxima e 50% dos dados coletados ficaram entre 0 e 1,1.

Figura 14 - pH do efluente percolado.

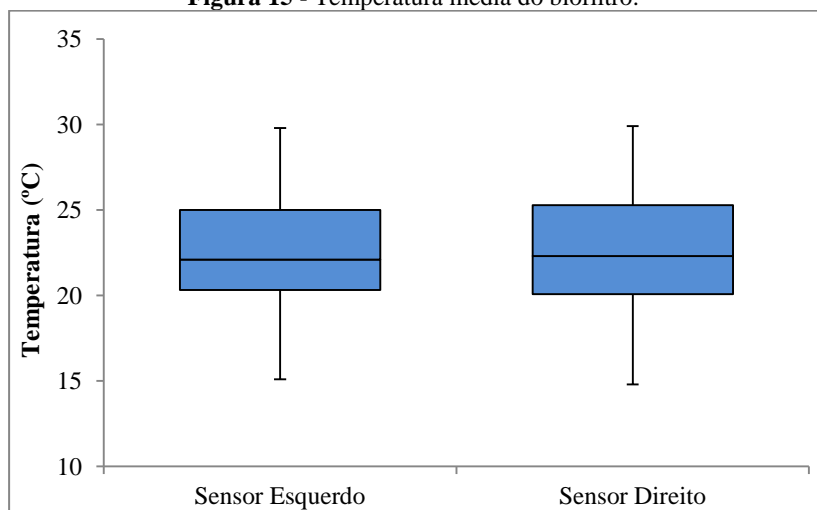


6.4. TEMPERATURA

A temperatura do sistema é de suma importância, visto que propicia a flora bacteriana realizar o tratamento do gás. Em temperaturas muito baixas ou muito altas, o tratamento é afetado, sendo assim a temperatura ideal deve ficar entre 15°C e 40°C. A temperatura média do biofiltro ficou em torno dos 22,6°C. Pode-se dizer então, que esta não ultrapassou o mínimo e o máximo da literatura. A maior parte dos valores ficou entre 15° e 23°. Mesmo não sendo a temperatura dita como ótima para o sistema, o mesmo respondeu muito bem a estas variações, não deixando com que a eficiência na remoção de gás sulfídrico ficasse abaixo de 98%.

A Figura 15 apresenta as temperaturas dos controladores esquerdo e direito obtidas no painel Rainbird. Observa-se no gráfico, que o sensor direito teve uma menor variação de valores que o esquerdo e que sua mediana está mais próxima da metade da caixa, o que indica que os dados do sensor direito têm uma melhor distribuição.

Figura 15 - Temperatura média do biofiltro.



6.5. INTENSIDADE ODORANTE

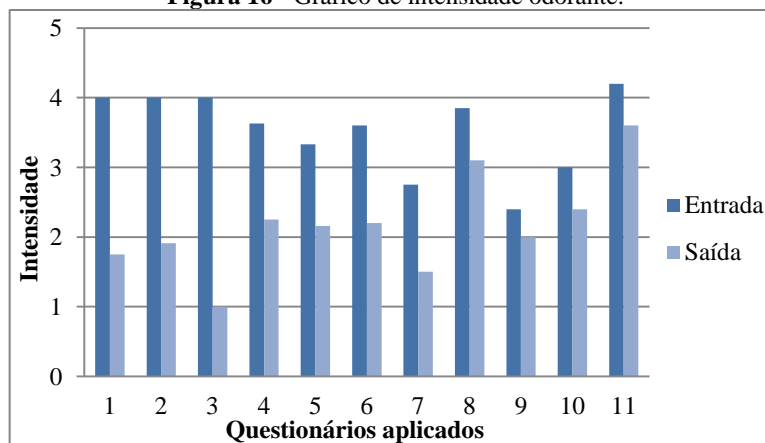
A intensidade odorante foi avaliada em dois pontos, para atestar a eficiência do sistema de acordo com a redução da força do odor. Os dois pontos em questão são a entrada do sistema (pré-tratamento) e a saída (pós-tratamento).

Os questionários foram aplicados no período compreendido entre 03/02/2014 e 27/10/2014, gerando um total de onze aplicações, com uma média de seis jurados por aplicação. A média de respostas para entrada e saída atendeu as expectativas, sendo que na entrada do sistema a média ficou em torno de 3,52, numa escala de intensidade de 1 a 5. Pode-se então considerar a intensidade do odor na entrada como média a forte. Para a saída, a média foi de 2,17, o que caracteriza o odor com intensidade fraca.

A Figura 16 apresenta a média de intensidade sentida pelos jurados em cada um dos questionários aplicados na entrada e saída do biofiltro. A escala de 1 a 5 refere-se à intensidade do odor, a qual vai de mui-

to fraco, fraco, médio, forte a muito forte, respectivamente. Os valores respectivos a este gráfico são apresentados no Anexo II deste trabalho.

Figura 16 - Gráfico de intensidade odorante.

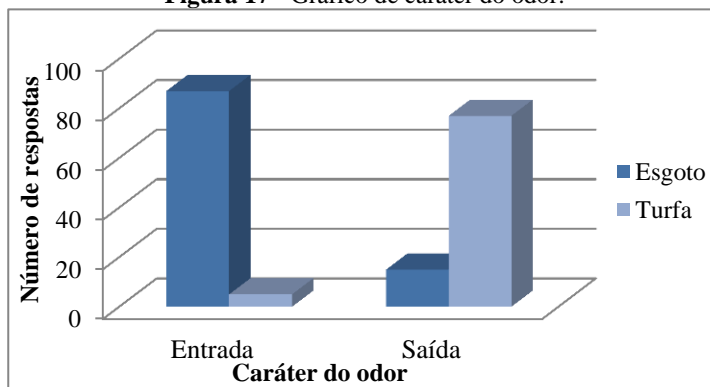


6.6. CARÁTER DO ODOR

O caráter do odor foi avaliado na entrada e saída do biofiltro. Os mesmos jurados que responderam ao questionário de intensidade, responderam a este questionário, no mesmo dia, mas avaliando o caráter do odor. Ao todo foram aplicados onze questionários no período entre 03/02/2014 e 27/10/2014. Ao todo foram obtidas noventa e duas avaliações, sendo que as escolhas possíveis eram esgoto ou turfa, como característica do odor.

Os resultados obtidos com este questionário foram satisfatórios já que o odor na entrada do tratamento foi caracterizado como esgoto, em 94,5% das respostas e na saída do biofiltro, em apenas 16% das respostas, as demais opções tiveram 0% das respostas. Isto salienta o quão eficiente é o sistema de biofiltração aplicado à estação elevatória de esgotos.

A Figura 17 apresenta o gráfico obtido a partir das respostas do questionário de caráter do odor.

Figura 17 - Gráfico de caráter do odor.

6.7. EFICIÊNCIA DO SISTEMA E CONCENTRAÇÃO DE H_2S

A concentração de H_2S foi mensurada com o aparelho Jerome 631-X em um total de treze pontos, sendo destes seis pontos de inspeção (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) na parede lateral do biofiltro (ver Figura 5), dois pontos de pré-tratamento do gás (E1 e E2), também na parede do biofiltro, um ponto na tubulação de sucção do gás, outro ponto na saída (chaminé) do biofiltro, ou seja, pós-tratamento, e os outros três pontos restantes eram nas redondezas do tratamento.

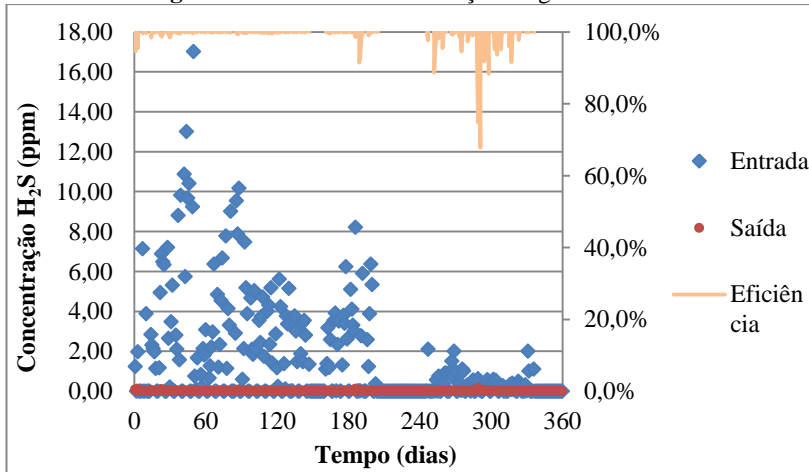
Os pontos de inspeção e os pontos próximos eram monitorados para reconhecer alguma falha no sistema, como caminhos preferenciais, buracos na camada filtrante, entre outros, a qual pudesse afetar o tratamento e, por fim, diminuir sua eficiência. Através desta inspeção, percebeu-se um buraco na primeira parte da camada filtrante e para eliminá-lo foi acordado que a turfa deveria ser revolvida, já que esta era a única maneira de resolver o problema. O processo foi feito em 11 de setembro de 2013 e trouxe os resultados esperados. Ademais, a eficiência do sistema foi mensurada através da comparação das médias de concentrações entre os pontos de pré-tratamento (E1, E2 e tubulação de sucção) e os valores obtidos na saída do tratamento. Já que o gás sulfídrico é o gás mais expressivo produzido no processo de tratamento de esgoto, este pode ser utilizado para mensurar a eficiência do sistema de tratamento de odores.

A remoção do H_2S , quando mensurada com o aparelho da marca Jerome, modelo 631-X, ficou em média acima dos 98%, mostrando que o sistema funciona perfeitamente. Este valor era esperado já que tanto os trabalhadores da concessionária quanto os moradores das áreas adjacen-

tes à estação não reclamavam mais do odor, nem dos incômodos que este trazia eventualmente antes da instalação do biofiltro, como náusea, dor de cabeça, enjoo, entre outros. Mesmo com a variação de temperatura entre as estações do ano, as concentração de H_2S variavam decorrente da variação temperatura e da quantidade de esgoto passante pela elevatória, já que Florianópolis é uma cidade turística e duplica sua população no verão, o tratamento mostrou-se eficiente, sempre atendendo as necessidades da população adjacente e dos trabalhadores locais.

A Figura 18 apresenta a eficiência do biofiltro em relação às concentrações de entrada e saída, medidas em ppm com o aparelho da marca Jerome, modelo 631-X. A tabela com os valores de eficiência e concentração de H_2S de entrada e saída encontra-se disponível no Anexo I deste trabalho.

Figura 18 - Eficiência de remoção do gás sulfídrico.



7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados apresentados no item 6 deste trabalho, pode-se concluir que o biofiltro automatizado, com leito de turfa, quando aplicado às Estações Elevatórias de Esgoto é potencialmente eficiente no que tange a remoção do gás sulfídrico, já que a eficiência do sistema mensurada através da remoção deste gás ficou na maior parte do tempo acima de 98%. O gás sulfídrico é o composto que causa a maior parte dos incômodos neste ambiente, por isso, a eficiência foi mensurada através da sua remoção. As concentrações deste gás, em ppm, para a entrada e saída foram de 2,24 e 0,01 respectivamente. Além deste tipo de avaliação, com os questionários de intensidade e caráter odorante os resultados foram excelentes também, visto que na parte de intensidade odorante o odor sentido passou de uma intensidade considerada média-forte para intensidade fraca. O caráter do odor, que na entrada em 94,5% das respostas era considerado como odor de esgoto, na saída foi considerado em 84% das respostas, como odor de turfa.

Pode-se afirmar que apesar do projeto abordar uma vazão de gás de entrada de 720m³/h, na prática este valor não foi observado, e sim um valor bem mais alto de aproximadamente 938m³/h, o que mostra que apesar da vazão ser bem maior que a estipulada em projeto, o biofiltro se comportou muito bem, não perdendo sua eficiência por este motivo.

No que tange a parte dos parâmetros operacionais, pode-se destacar que a sonda Rainbird não atendeu as necessidades e para uma futura comercialização deveria ser trocada por uma sonda em que a umidade lida fosse igual ou parecida com a umidade real, a fim de evitar as análises laboratoriais e deixar o sistema cada vez mais automatizado.

No sistema de drenagem do efluente percolado poderia ser instalado um sistema de abertura de registro que fizesse o descarte automático do efluente, encaminhando o mesmo para um local que não gerasse um problema ambiental, visto que este efluente tem um pH muito ácido, que neste biofiltro ficou próximo de 1,08.

Considerando todos estes resultados apresentados e melhorias possíveis, o sistema de biofiltração aplicado à estação elevatória mostrou-se satisfatório e passível de comercialização, já que não apresentou custos extras excessivos e não necessitou de intervenção humana na maior parte do tempo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, STEPHEN F. **Biofiltration - a Primer**. Environmental Protection. Dallas, p. 33-41. abr. 2001.

ARNESEN A. S.; SAMPAIO. A. O. **Tratamento de Gases Odorantes de EEE e ETE por Biofiltração**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, Goiânia-GO – Brasil. 2013.

AURIA R.; FRERE G.; MORALES M.; ACUÑA ME.; REVAH S., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

BELLI FILHO, P.; LISBOA, H. M. **Odor e Desodorização de Estações de Tratamento de Efluentes Líquidos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro – Brasil. 1999.

BELLI, P. F.; DE MELO LISBOA. H. - **Avaliação de Emissões Odorantes**. Engenharia Sanitária e Ambiental. 3-Nº 3, Jul/Set, Nº 4 Out/Dez, 1998.

BELLI FILHO et al. **Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários**. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - PRO-SAB, cap. 8, 2001.

CABRAL, F. A.S. **Biofiltração para Desodorização de Reatores Anaeróbios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental .Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

CABRAL, F. A.S.; BELLI FILHO, P. **Avaliação de um biofiltro com leito de turfa para eliminação de compostos odorantes**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, Joinville, SC – Brasil. 2003.

CARDENAS-GONZALEZ B.; ERGAS S.; SWITZENBAUM M.; PHILLIBERT N., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

CARMO Jr., G. N. R. **Otimização e Aplicação de Metodologias para Análises Olfatométricas Integradas ao Saneamento Ambiental**. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

CARVALHO, C. M. **Odor e Biodesodorização em Reatores Anaeróbios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

CHERNICHARO, CARLOS AUGUSTO DE. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Brasil). **Pós - Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 544p.

CHERNICHARO, C.A.L. et al. **Alternativas para o Controle de Emissões Odorantes em Reatores Anaeróbios Tratando Esgoto Doméstico**. Revista ABES, v.15, n.3, Nota técnica, p. 229-236. 2010.

CORBITT RA., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control** . Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

CUDMORE, R.S.; DONS, A. **Environmental Standard for Industrial Odour Effects: A Recommended Approach**. Aurora Environmental Ltd. Report nº A028-01, june, 2000.

DE MELO LISBOA, H. M. et. al. Metodologias Olfatométricas para Avaliação do Impacto Odorante. LCQAr, Universidade Federal de Santa Catarina. 2010.

DEVINNY, J.S., DESHUSSES, M.A., WEBSTER, T.S. Biofiltration for air pollution control. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 299p. 1999.

FERNANDEZ, B. **Contribution a l'Elaboration d'une Methodologie d'Analyse Physico-Chimique de Composes Odorants**. Tese (doutorado em chimie et microbiologie de l'eau)- l'Université de Pau et de Pays de l'Adour.France, 1997.

GAILLARD, I.; ROUQUIER, S.; GIORGI, D. **Olfactory Receptors**. Cellular and Molecular Life Sciences : CMLS, v. 61, n. 4, p. 456–69, fev. 2004.

GODISH, T. **Air Quality**. 2nd.ed. Chelsea: Lewis, 1991. 422p.

GODKE, MARIANA MOTA. **Proposta de Metodologia para Pré-Seleção de Jurados para Certificação**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S. A.; STUETZ, R. M. **Review Paper Odour Measurements for Sewage Treatment**. v. 35, n. 3, p. 579–597, 2001.

JIANG, J.K.; KAYE R. In: **Odours in Wastewater Treatment: Measurement, Modelling and Control. Sampling Techniques for Odour Measurement**. Edited by Richard Stuetz and Franz-bernd Frenchen. IWA. 2001.

KENNES C., VEIGA M., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

KENNES C., VEIGA C., PRADO O., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

LE CLOIREC, P.; FANLO, J.L.; DEGORGÉ-DUMAS, J. R. **Odeurs et Désodorisation Industrielles**. Ecole des Mines D'Alès, 1991.

LESON, Gero; WINER, Arthur M.. **Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology For VOC Emissions**. Air & Waste Management Association. California, p. 1045-1054. mar. 2012.

MCGINLEY, M. A.; MCGINLEY, C. M. **Olfactomatics : Applied Mathematics for Odor Testing**. WEF odor / VOC, Specialty Conference Cincinnati, 2000.

MORALES M.; HERNÁNDEZ S.; CORNABÉ T.; REVAH S.; AURIA R., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

MORGAN-SAGASTUME JM.; ERGAS S.; REVAH S.; NOYOLA A., In :**Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

NIMMERMARK, S. **Influence of Odour Concentration and Individual Odour Thresholds on the Hedonic Tone of Odour from Animal roduction**. Biosystems Engineering, v. 108, n. 3, p. 211–219, mar. 2011.

PERRIN, M.L. **L’olfactométrie ou la mesure des odeurs**. L’Environnement. 38, 4-5,1994.

PLANKER TW., In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

POWERS, Wendy. **The Science of Smell Part 1: Odor Perception and Physiological Response**. Iowa State University: University extension, Ames, maio 2004.

PROKOP, W. Odors. In: **Air Pollution Engineering Manual**. USA, Air & waste management Association, 1996.

REVAH, Sergio; MORGAN-SAGASTUME, Juan M..In: **Biotechnology For Odor And Air Pollution Control**. Heidelberg: Springer, 2005. Cap. 3. p. 29-63.

RIBEIRO, J. T. **Controle de Odores em Sistemas de Esgoto Sanitário. Esgoto Sanitário-Coleta, transporte tratamento e reuso agrícola**. 1a Edição, 2003.

SANTOS, EDUARDO ATNÁZIO DOS. **Desodorização de Sistemas de Esgotamento Sanitário por Biofiltração**. 2014. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SILVA, M.B. **Influência do Tipo de Meio Suporte no Desempenho de Biofiltros Aplicados à Remoção de H₂S do Ar Atmosférico em Sistemas de Esgoto Sanitário**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - UFES, Vitória, 2008.

SMET E.; VAN LANGENHOVE H., **Abatement of Volatile Organic Sulfur Compounds**. In: *Odorous Emissions from the Bio-Industry*. Bio-degradation, 1998. Cap 9. P. 273-284.

SNEATH, R.W. In: **Odours in Wastewater Treatment: Measurement, Modelling and Control**. Olfactometry and the CEN standard prEN17325. Edited by Richard Stuetz and Franz-Bernd Frenchen. IWA. 2001.

STUETZ, R., FRENCHEN, F.B. **Odour Wastewater Treatment, Measurement, Modelling and Control**. Ed. IWA – Publishing. London. 2001. 437p.

TACLA, R. M. B. **Aproveitamento de Resíduos Industriais para a Biofiltração do Sulfeto de Hidrogênio**. 2004. Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

VAN LAGENHOVE H; DE HEYDER, B. In: **Odours in Wastewater Treatment – Measurement, Modeling and Control**. 434p, 2001.

VDI 3883 part 2 - VDI –RICHTLINIEN – Verein Deutscher Ingenieure. (1993) **Effects and Assessment of Odours - Determination of Annoyance Parameters by Questioning** - Repeated Brief Questioning of Neighbour Panellists. 96pp.

ZURITTA, M.L.L., LUCA, S.J., RODRIGUEZ, M.T.R. **Avaliação do Odor Gerado por Fonte Estacionária, Através da Implantação de uma Rede de Monitoramento de Incidência de Odores**. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999, p. 2832-2841.

WEF/ASCE. **Odor Control in Wastewater Treatment Plants**. Water Environmental Federation (WEF) Manual of Practice n.22 and American Society of Civil Engineers (ASCE) manuals and reports on engineering practice n.82, 1995.

ANEXO I – Tabela de concentrações de H₂S de entrada e saída (em ppm) e eficiências de remoção obtidas

Amos- tras	En- trada (ppm)	Saída (ppm)	Eficiên- cia(%)	Amos- tras	Entra- da (ppm)	Saída (ppm)	Eficiên- cia(%)
1	0,19	0,00	98,45	111	1,30	0,00	100,00
2	3,47	0,00	99,89	112	3,80	0,00	99,92
3	5,30	0,01	99,84	113	3,40	0,00	99,89
4	2,80	0,00	99,88	114	6,23	0,00	99,94
5	2,10	0,01	99,75	115	2,60	0,00	99,90
6	1,57	0,01	99,49	116	5,10	0,00	99,98
7	10,87	0,01	99,94	117	4,10	0,00	99,89
8	13,00	0,00	99,99	118	3,30	0,00	99,96
9	10,40	0,00	99,97	119	3,00	0,01	99,67
10	17,00	0,02	99,90	120	8,20	0,11	98,67
11	0,08	0,00	100,00	121	0,00	0,00	91,67
12	3,07	0,00	99,98	122	0,01	0,00	93,75
13	1,27	0,00	99,92	123	2,77	0,03	98,78
14	2,20	0,00	99,95	124	5,90	0,01	99,85
15	2,97	0,00	99,97	125	2,57	0,00	99,88
16	6,37	0,01	99,91	126	1,23	0,01	99,03
17	4,83	0,00	99,91	127	3,87	0,00	99,91
18	1,20	0,00	99,92	128	6,37	0,01	99,87
19	2,33	0,00	99,89	129	5,33	0,01	99,91
20	4,53	0,00	99,93	130	0,36	0,00	100,00
21	6,67	0,00	99,98	131	0,01	0,00	83,33
22	7,77	0,00	99,98	132	0,02	0,00	91,67
23	1,13	0,00	100,00	133	2,10	0,04	97,97
24	4,13	0,00	99,94	134	0,01	0,00	89,29
25	3,30	0,00	99,90	135	0,01	0,00	95,65
26	9,00	0,02	99,83	136	0,55	0,00	99,76
27	7,43	0,04	99,47	137	0,74	0,01	98,20

28	2,90	0,00	99,90	138	0,08	0,00	95,87
29	9,53	0,01	99,94	139	0,40	0,00	100,00
30	7,87	0,05	99,34	140	0,89	0,00	100,00
31	10,17	0,00	99,97	141	0,90	0,00	100,00
32	0,59	0,00	99,83	142	1,00	0,00	100,00
33	2,13	0,01	99,73	143	1,50	0,01	99,33
34	7,47	0,00	99,98	144	0,73	0,00	99,36
35	5,17	0,02	99,66	145	2,00	0,00	100,00
36	3,87	0,00	99,93	146	1,00	0,00	100,00
37	4,67	0,00	99,96	147	0,38	0,00	98,85
38	2,10	0,00	99,95	148	0,40	0,00	100,00
39	1,83	0,00	100,00	149	0,02	0,00	94,55
40	0,65	0,00	100,00	150	1,10	0,00	100,00
41	2,10	0,00	99,89	151	1,00	0,00	100,00
42	3,53	0,01	99,85	152	0,29	0,01	97,59
43	2,43	0,00	99,93	153	0,30	0,00	100,00
44	3,73	0,01	99,84	154	0,33	0,00	100,00
45	4,70	0,00	99,94	155	0,47	0,00	99,08
46	1,73	0,01	99,71	156	0,56	0,00	100,00
47	4,00	0,01	99,70	157	0,36	0,01	97,94
48	4,53	0,00	100,00	158	0,61	0,15	74,86
49	2,33	0,01	99,74	159	0,40	0,00	100,00
50	5,17	0,00	99,94	160	0,02	0,01	70,69
51	1,40	0,01	99,60	161	0,36	0,03	92,34
52	2,87	0,00	99,88	162	0,43	0,01	97,67
53	1,17	0,00	99,83	163	0,33	0,02	95,25
54	0,24	0,00	99,86	164	0,57	0,00	100,00
55	5,60	0,00	99,95	165	0,27	0,03	89,38
56	4,23	0,00	99,98	166	0,33	0,00	100,00
57	1,37	0,00	99,93	167	0,58	0,00	100,00
58	0,11	0,00	100,00	168	0,50	0,02	95,03
59	3,77	0,01	99,85	169	0,53	0,00	100,00

60	3,37	0,00	99,93	170	0,26	0,02	94,23
61	5,13	0,00	99,95	171	0,10	0,00	95,55
62	0,00	0,00	100,00	172	0,23	0,00	100,00
63	3,43	0,00	99,98	173	0,27	0,00	100,00
64	3,77	0,00	99,97	174	0,01	0,00	100,00
65	3,00	0,00	100,00	175	0,22	0,01	96,36
66	1,47	0,00	99,95	176	0,33	0,00	100,00
67	1,87	0,00	100,00	177	0,07	0,01	91,55
68	5,03	0,00	99,95	178	0,40	0,00	100,00
69	1,47	0,00	99,95	179	0,08	0,00	100,00
70	3,53	0,00	99,99	180	0,30	0,00	100,00
71	2,80	0,00	99,93	181	0,49	0,01	97,96
72	1,33	0,00	100,00	182	0,37	0,00	100,00
73	1,10	0,00	100,00	183	0,24	0,00	100,00
74	1,37	0,00	100,00	184	0,32	0,00	100,00
75	3,17	0,01	99,84	185	0,01	0,00	100,00
76	4,30	0,01	99,77	186	2,00	0,00	100,00
77	2,57	0,01	99,77	187	1,00	0,00	100,00
78	3,53	0,00	99,95	188	1,10	0,00	99,91
79	3,90	0,00	99,88	189	0,23	0,01	97,83
80	0,00	0,00	100,00	190	0,24	0,00	100,00
81	2,33	0,00	99,93	191	0,27	0,00	100,00
82	0,24	0,00	99,86	192	0,35	0,00	100,00
83	5,60	0,00	99,95	193	0,87	0,00	100,00
84	4,23	0,00	99,98	194	0,23	0,00	100,00
85	1,37	0,00	99,93	195	0,05	0,00	100,00
86	0,11	0,00	100,00	196	0,89	0,00	100,00
87	3,77	0,01	99,85	197	1,00	0,00	100,00
88	3,37	0,00	99,93	198	0,01	0,00	100,00
89	5,13	0,00	99,95	199	0,01	0,00	95,45
90	0,00	0,00	100,00	200	0,47	0,00	100,00
91	3,43	0,00	99,98	201	0,56	0,00	100,00

92	3,77	0,00	99,97	202	0,32	0,01	96,88
93	3,00	0,00	100,00	203	0,98	0,00	100,00
94	1,47	0,00	99,95	204	0,89	0,00	100,00
95	1,87	0,00	100,00	205	0,81	0,08	90,57
96	3,40	0,00	99,92	206	1,00	0,00	100,00
97	1,47	0,00	99,95	207	0,96	0,00	100,00
98	3,53	0,00	99,99	208	0,19	0,01	93,45
99	2,80	0,00	99,93	209	0,24	0,01	95,83
100	1,33	0,00	100,00	210	0,35	0,00	100,00
101	1,10	0,00	100,00	211	0,33	0,01	96,97
102	1,37	0,00	100,00	212	0,44	0,00	100,00
103	3,17	0,01	99,84	213	0,07	0,01	87,50
104	1,18	0,01	99,58	214	0,04	0,00	100,00
105	2,57	0,01	99,77	215	0,40	0,00	100,00
106	3,53	0,00	99,95	216	0,32	0,00	100,00
107	3,90	0,00	99,88	217	0,47	0,00	100,00
108	0,02	0,00	86,67	218	0,43	0,00	100,00
109	2,33	0,00	99,93	219	0,53	0,00	100,00
110	3,50	0,00	99,96	220	0,64	0,00	100,00

ANEXO II – Valores Médios de Intensidade Odorante

Data	Entrada	Saída
03/02/2014	4	1,75
10/02/2014	4	1,91
07/04/2014	4	1
14/04/2014	3,63	2,25
28/04/2014	3,33	2,16
19/05/2014	3,6	2,2
09/06/2014	2,75	1,5
16/09/2014	3,85	3,1
07/10/2014	2,4	2
21/10/2014	3	2,4
27/10/2014	4,2	3,6

ANEXO III - Questionário de Intensidade Odorante

			
---	---	---	---

DATA: __/__/__

ANÁLISE DE INTENSIDADE ODORANTE

Lembre-se que este questionário refere-se a intensidade do odor sentida no biofiltro.

Informações

Local de Trabalho: _____

Idade				
Sexo	Feminino ()	Masculino ()		
Fumante	Sim ()	Não ()		
Temperatura	Frio ()	Quente ()	Abafado ()	
Nebulosidade	Céu limpo ()	Nublado ()	Garoa ()	Chuva ()

1. Entrada (2º ponto cheirado/ orifício na parede do biofiltro)
 - a. Você está sentindo algum tipo de odor?
Sim () Não ()
 - b. Este odor é:
Muito Fraco () Fraco () Moderado () Forte () Muito Forte ()
 - c. Descreva o odor sentido:

2. Saída (1º ponto a ser sentido/ telhado do biofiltro)
 - d. Você está sentindo algum tipo de odor?
Sim () Não ()
 - e. Este odor é:
Muito Fraco () Fraco () Moderado () Forte () Muito Forte ()
 - f. Descreva o odor sentido:

ANEXO IV – Questionário de Caráter Odorante

	 FINEP AGÊNCIA NACIONAL DE INOVAÇÃO	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	 BRASIL PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA.
---	--	--	--

DATA: ____/____/____

ANÁLISE DE CARÁTER ODORANTE

Lembre-se que este questionário refere-se ao incômodo causado pelo odor que você sente quando está no biofiltro.

Informações

Local de Trabalho: _____

Idade				
Sexo	Feminino ()	Masculino ()		
Fumante	Sim ()	Não ()		
Temperatura	Frio ()	Quente ()	Abafado ()	
Nebulosidade	Céu limpo ()	Nublado ()	Garoa ()	Chuva ()

1. Você sente algum odor que te causa incômodo?

Sim () Não ()

2. Este odor é:

- a. Muito Fraco ();
- b. Fraco ();
- c. Moderado ();
- d. Forte ();
- e. Extremamente Forte ();
- f. Inodoro ().

3. Como você descreve este odor:

- a. Ovo podre ();
- b. Esgoto ();
- c. Óleo queimado ();
- d. Gasolina ();
- e. Tinta ();
- f. Não sei ().

